

25.中国の社会経済成長と詳細地域の 水需給ギャップへの影響 —黄河と長江における年間流出解析—

大西 暁生^{1*}・森杉 雅史²・田中 広樹³・井村 秀文¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 D2-1(510)）

²名城大学都市情報学部（〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3）

³名古屋大学地球水循環研究センター（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 F3-1(200)）

* E-mail: onishi@corot.nuac.nagoya-u.ac.jp

21世紀は水の世紀である。特に、水資源の少ない地域とりわけ乾燥・半乾燥地域では、水資源のさらなる枯渇が経済成長の足枷となることが懸念されている。1972年から頻発した「中国黄河の断流」は、こうした世界各地の水不足問題の代表としてあげられる。この断流は、急速な社会経済の成長に伴い水需要が増加した結果、水需給のアンバランスが発生し深刻化していったと言われている。さらに、こうした水不足の可能性は、乾燥・半乾燥地域などの限られた地域での現象に留まらず、温暖化の影響や発展途上国の急速な経済成長に伴って、こうした影響を受けるであろう地域の共通の課題として広がっている。そのため本研究では、中国を対象に、社会経済成長と水需要の関係を明らかにしつつ、水需給ギャップを詳細な空間単位で把握することを目的とする。はじめに、人口・経済といったマクロな空間情報を用い、地域のセクター別（農業、工業、生活）の水需要量を推計した。次に、観測された気象データを用い、地域の水資源量を推計した。最後に、上記で得られた水需要と水供給の関係を「水需給ギャップ」として評価した。また、2大主流である黄河流域と長江流域を対象に、カスケードタイプの簡便な流出モデルを作成することによって人間活動が河川流量に与える影響を分析した。

Key Words : China, socio-economic growth, water demand and supply gap, run-off

1. はじめに

中国の経済は1978年の改革開放以来、飛躍的に成長し、今後もその成長はさらに加速すると予測されている¹⁾。特に、市場の自由化や国内での経済構造改革が進むことによって、生産拡大、産業転換、生活レベル向上などがより一層促進されることが見込まれている¹⁾。一方、中国の経済成長は沿海部への傾斜政策、すなわち「先富論」²⁾や「はしご理論」³⁾によって支えられてきたものの、沿岸部と内陸部、また都市と農村といった地域間経済格差の拡大が進み、その是正こそが今後の中国の発展の鍵となり得る。

中国の急速な経済成長は、安価な労働力の確保と過剰な資源の消費によって支えられてきたものの、環境の破壊や資源の枯渇といった、早急に対応すべき問題が山積しており、現在、この解決に向けた対策が急務である。

中国北部は、乾燥・半乾燥地帯が広がり、急速な経済成長に伴い水需要が増加することによって、水資源の枯渇が頻発している。典型的な事例としては、1972年から発生した「中国黄河の断流」現象が挙げられる。さらに、こうした水不足の可能性は、乾燥・半乾燥地域などの限られた地域での現象に留まらず、温暖化の影響や急速な経済成長に伴って、こうした影響を受けるであろう地域が拡大している。さらに、中国の経済成長の一番の懸念である地域間経済格差の是正を進めるならば、限られた水資源の配分を十分に考慮し、各地域の経済発展のスピードを調整しながら、限られた水資源の有効利用を進める対策を急ピッチで進める必要がある。すなわち、社会経済の発展を基盤にした公平な水資源配分のあり方とそれをコントロールする適正な水資源管理の方法を模索する必要がある。

そのため本研究では、こうした議論の前段階として、

中国全土を対象に、社会経済成長と水需要増加の関係を明らかにし、1995年から2050年までの社会経済成長の違いによる各地域の水需給とそのギャップを詳細な空間単位によって把握する。また、得られた結果を、図-1のような中国の主要流域ごとにまとめることによって、各流域の水需給の状況を明らかにする。特に、経済成長が見込まれる地域では、工業用水や都市生活用水などの新規の水需要が増加することが見込まれ、その結果水需給ギャップが深刻化することが懸念されている。そのため、このような人間活動の影響を十分に加味した分析が重要であると考えられる。さらに、2大主流である黄河流域と長江流域を対象に、カスケードタイプの簡便な流出モデルを作成することによって人間活動が河川流量に与える影響を分析する。

このような人間活動と水資源利用の関係、また水資源とのギャップを明らかにすることによって、今後の水資源管理の合理的且つ効率的な方法を模索することができると考えられる。

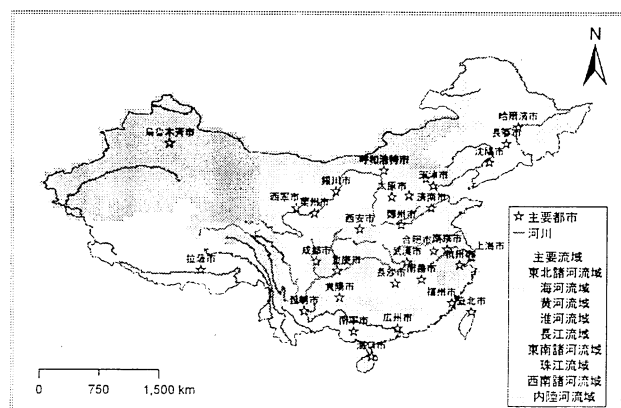


図-1 中国の主要流域

2. 分析フレーム

経済成長の著しい地域の水需給構造は、この成長によって変化する水需要にその主眼がおかれる。特に、社会経済成長に伴い増加する工業用水や都市生活用水が、地域の水需給構造に大きく影響することが考えられる。ここで本研究では、国際協力銀行⁴⁾、一ノ瀬^{3,9)}、筆者らの従前の研究^{1),7-10)}を参考に、水需要を決定する人口・経済（例えば人口、GDPなど）といったマクロな因子をまとめた。

(1) 経済成長：GDP、一人当たりGDP

(2) 人口：地域別の人口、都市人口と農村人口、非農業人口と農業人口

本研究では、上記のようなマクロ因子を出来る限り詳細な空間単位で整理することによって、自然境界である流域の水需給構造を出来るだけ正確に把握する。この際、中国で刊行されている省などの統計データ¹¹⁾を用いて推

計することによって、上記の要因を中心により詳細な空間単位にダウンスケールしていく。また、土地利用の状況を把握するため、各種のGISデータ¹²⁻¹⁴⁾を用いる。さらに、水資源量を推計するには、気象データが必要となる。そのため、中国の気象観測所で得られたデータを用いる。最後に、水需要と水資源量を推計するため、これらに関わる各種の統計データや資料¹⁵⁻¹⁷⁾を整理する。本研究では、このような統計データや空間情報をもとに、中国の水需要と水資源量を0.5度格子ごとに推計する。本研究の分析フレームを図-2に示す。

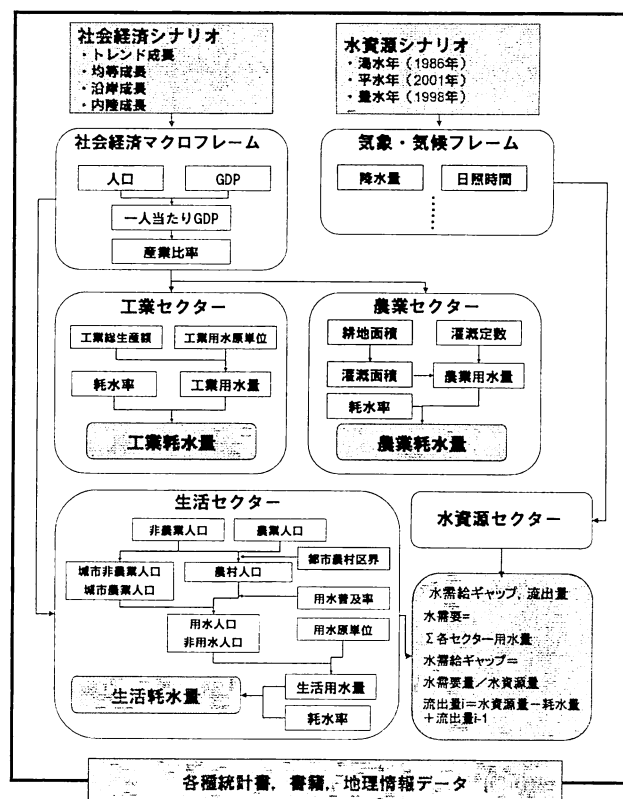


図-2 分析フレーム

3. 推計方法

(1) 人口・経済マクロ因子

a) 人口、GDP、一人当たりGDP

まず、中国科学院の空間情報¹²⁾を利用し、水需要を決定するマクロ因子のもととなる人口、GDP、またこれから得られる一人当たりGDPのデータを整備した。次に、将来の人口及びGDPの推計ため、本研究では、国際協力銀行の研究⁴⁾や中国工程院の報告書¹⁷⁾を参考に成長率を仮定した。ここで、中国全体の経済成長率を一定と仮定し、空間的な成長の違いを考慮するため、4つのシナリオを設定した。用いたシナリオは、過去の実績を踏まえた「トレンド成長」、どの地域も同様の成長率で成長する「均等成長」、沿岸地域の成長をより促進する「沿岸成長（沿岸部が内陸部の2倍の成長率）」、内陸地域の

成長をより促進する「内陸成長（内陸部が沿岸部の2倍の成長率）」である。

b) 産業構造

次に、前項の一人当たりGDPを用いて産業構造を推計した。この推計方法は、国際協力銀行⁴⁾を参考とした。使用したデータは、国家統計局総合司¹¹⁾に記載されている1952年から2004年までのものである（しかし省などによっては用いた年次は多少異なる）。

最後に、上記のようにして得られた各省の推計式を用い、それぞれの省に属する格子に適用することで産業構造を推計する。

(2) 水需要量

a) 農業用水量

中国の全用水量のおよそ7割は農業用水量によって占められている^{13) 16)}。この農業用水量は、灌漑面積と単位面積当たりの水使用量（以下、灌漑定数と記す）によって推計できる。そのため、灌漑面積と灌漑定数の双方のデータを整備する必要がある。まず、0.5度格子の灌漑面積のデータを得るため、中国科学院の格子形式の空間情報¹³⁾で整備されている耕地面積と、中国科学院地理科学・資源研究所¹⁴⁾のポリゴン形式の灌漑地域データを用いた。灌漑面積の推計には、耕地面積の格子データをもとに、ポリゴン形式で表された灌漑地域がこの耕地面積格子に含まれていればその全面積を灌漑面積とし、一部灌漑地域のみが格子内に含まれる場合は、その含まれる面積の割合を算出し、耕地面積から灌漑面積を推計した。灌漑定数は、中国水資源公報など^{13) 16)}に省ごとに整備されているため、それぞれの省に属する格子に適用した。将来推計については、灌漑面積を2000年と同様と仮定し、灌漑定数は2004年の値をそのまま用いた。

b) 工業用水量

工業用水量は、工業総生産額に単位工業総生産当たりの水使用量（以下、工業用水原単位と記す）を乗じることによって求められる。まず、各格子の工業総生産額の推計には、国家統計局総合司¹¹⁾に記載されている1952年から1998年までの（1998年以降はある一定規模以上の企業の生産額しか計上されていないため時系列的な継続性がないため使用できない）各省の第2次産業生産額の値と工業総生産額の値を用い求めた。そして、ここで得られた各省の推計式と、前節b)「産業構造」の推計によって得られた第2次産業生産額の値を用い、それぞれの省に属する各格子の工業総生産額を推計した。工業分類は郷鎮企業を含む20部門を採掘業、製造業、郷鎮企業に分類し用いているが、この産業構造は変わらないものと仮定した。

c) 生活用水量

生活用水量は、人口に1日1人当たり水使用量（ U ：日・人）（以下、生活用水原単位と記す）を乗じて求めることができる^{14) 8)}。

ただし、上水道の普及は都市と農村によって異なる。したがって、生活用水量の推計には、上水道にアクセスできる「用水人口」とアクセスできない「非用水人口」の値、またそれぞれの生活用水原単位を知る必要がある^{14) 8)}。具体的には、①城市非農業人口と城市農業人口の値、②城市非農業人口と城市農業人口に対する用水普及率、③都市生活用水原単位（上水道あり）と農村生活用水原単位（上水道なし）、が必要である^{14) 8)}。

はじめに、城市における非農業人口と農業人口の推計には、上水道の整備されている城市（市轄区及び市）における非農業人口と農業人口の比率を知る必要がある。ここで、非農業人口と農業人口の推計には、国家統計局総合司¹¹⁾に記載されている各省の一人当たりGDPと総人口に占める非農業人口（NonAgricultural_Pop）の比率をもとに求めた。また、農業人口に関しては、総人口と推計した非農業人口の差から求めた。さらに、城市に含まれる格子を特定することによって、城市非農業人口と城市農業人口の値を求めた。

次に、城市非農業人口と城市農業人口の用水普及率については、筆者らの従前の方法¹⁸⁾を用いて推計した。最後に、都市生活用水原単位（上水道あり）と農村生活用水原単位（上水道なし）については、中国水資源公報¹⁵⁾と中国科学院地理科学与資源研究所¹⁶⁾による水使用原単位の実績値を用い、さらに将来においては、中国持続発展水資源戦略研究報告集¹⁷⁾に示されている2050年までの中国全体の原単位の推移と同様の伸び率をすべての省に適用した。

(3) 水供給量（水資源量）

中国で一般的に公表されている水資源量の定義は、河川・湖沼などの地表水または地下水の形で人間が実際に利用できる水の量を示している^{14) 4) 7) 8) 10) 15)}。流域において使用できる水資源量は降水量と良好な関係がある^{14) 4) 7) 8) 10)}。そのため、中国の気象観測所で得られた1971年から2005年までの降水量のデータをKriging補間法¹⁹⁾により点データから面データに補間したものを省ごとにまとめる¹⁰⁾。次に、中国水資源公報など^{15) 16)}に記載されている1995年から2005年までの各省の水資源量との関係から推計した（しかし省によっては1997年から2005年までの値を用いている）¹⁰⁾。ここで得られた各省の推計式を用い、それぞれの省に属する格子に適用した¹⁰⁾。将来推計については、推計した1971年から2005年までの中国全体の水資源量のうち、最も水資源量が多かった1998年を「豊水

年」とし、最も水資源量が少なかった1986年を「渇水年」とし、平均的な水資源量に最も近い2001年を「平水年」と設定した¹⁰⁾。

(4) 耗水率

前節までの推計方法によって、格子ごとに水需要量と水資源量が求められる。しかし、黄河流域と長江流域における流出量を推計するには、使用された水の一部が消費されることなく自然界（河川）に戻る過程を反映する必要がある。そのため、この量がどれだけ水資源量として還元されるのかを知るために、使用量のうちの減耗量の割合（水資源として回復されない分の割合）、すなわち「耗水率」のデータを用いる。

本研究では、1995年と1996年におけるセクター別の耗水率のデータを概ね入手したが、入手できなかった年や省については、全国の平均値を用いることとした。また、この値も将来変わらないものと仮定した。

(5) 水需給ギャップ

本研究では、各格子において推計された水需要量と水資源量の関係を「水需給ギャップ」として評価する。水需給ギャップとは、水資源量（水供給）に対する水需要量の比で表わしている。

(6) カスケードタイプの 簡易流出解析

図-3に、黄河流域と長江流域の小流域区分を示す。この各小流域を上流から下流の順序に並べ、これら小流域からの年間の流出量は、次式のような簡易なカスケード方式によって求められる。

$$Q_i = R_i - C_i + Q_{i-1} \tag{1}$$

ここで、 Q : 流出量、 R : 水資源量、 C : 水消費量、 i : 各流域（上流から下流の地域の順番）である。

4. 推計結果

(1) 水需要量の結果

図-4に、中国全体のシナリオ別水需要量の結果を示す。この結果、1995年の5534.02億 m^3 、2000年の5509.53 億 m^3 から2050年には沿岸成長の6659.16億 m^3 、トレンド成長の6817.66億 m^3 、均等成長の7026.01億 m^3 、内陸成長の7193.96 億 m^3 の順に水需要が増加することが分かった。

(2) 水需給ギャップの結果

表-1に、2000年及び渇水年における各経済成長シナリ

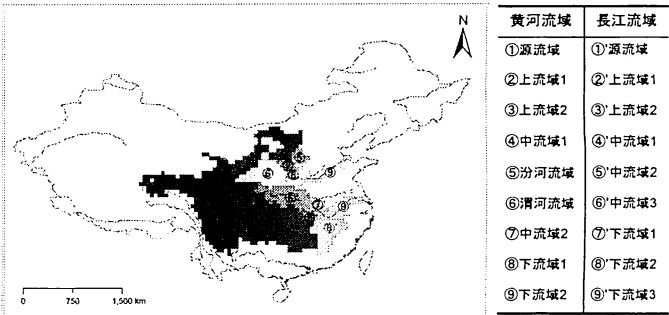


図-3 黄河流域と長江流域の小流域区分

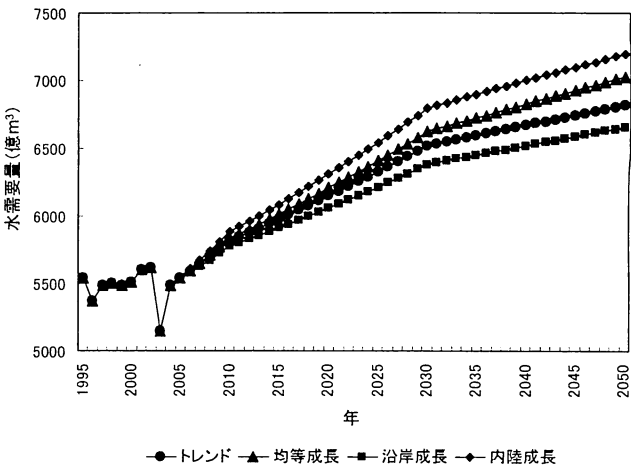


図-4 中国全体のシナリオ別水需要量の結果

表-1 主要流域のシナリオ別の水需給ギャップの結果
(水資源量：渇水年)

主要流域	2000年	トレンド成長	均等成長	沿岸成長	内陸成長
東北諸河流域	0.285	0.285	0.362	0.221	0.459
海河流域	1.501	2.224	2.055	2.304	1.978
黄河流域	0.651	0.832	0.810	0.771	0.989
淮河流域	0.728	1.463	1.414	1.508	1.332
長江流域	0.172	0.257	0.266	0.244	0.289
東南諸河流域	0.165	0.181	0.201	0.189	0.157
珠江流域	0.114	0.217	0.201	0.236	0.162
西南諸河流域	0.006	0.010	0.010	0.009	0.011
内陸河流域	0.344	0.398	0.405	0.385	0.434
中国全体	0.192	0.279	0.287	0.272	0.294

オ下における水需給ギャップを示す。この結果、中国北部の流域、特に海河流域、淮河流域、黄河流域で非常に厳しい水需給アンバランスが発生していることが分かった。図-5、6に、2000年と内陸成長シナリオ及び渇水年シナリオにおける2050年の水需給ギャップの空間分布を示す。この結果、海河流域や淮河流域、また黄河流域下流域の広がる華北平原や黄河の河川沿いの灌漑地域などにおいて水需給ギャップが発生することが分かった。またそれ以外でも、例えば新疆ウイグル自治区の一部、東北諸河流域の主要都市周辺、長江流域の成都市、重慶市、武漢市周辺などでも水需給のアンバランスが発生することが分かった。

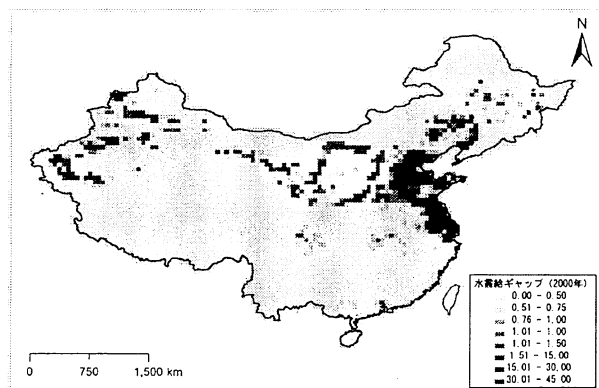


図-5 2000年の水需給ギャップ

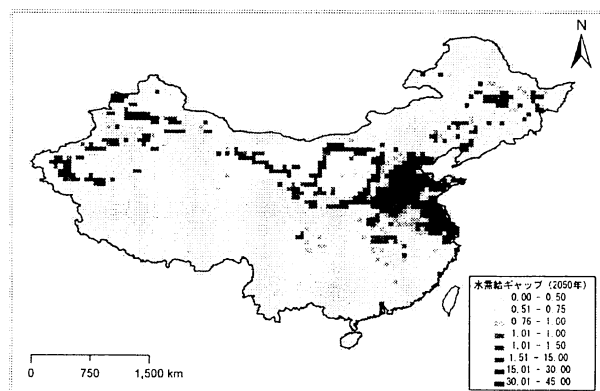


図-6 2050年の水需給ギャップ
(内陸成長+渇水年)

(3) 流出量の結果

図-7に、黄河各小流域の流出量の結果を示す。同様に、図-8に、長江各小流域の流出量の結果を示す。この結果、黄河流域の河口に入る流出量は、2000年の369.06億 m^3 から2050年の248.46億 m^3 と、120.60億 m^3 低下することが分かった。長江流域の場合は、中国南部に位置し、比較的水資源の豊富な地域であり、水資源需給構造が逼迫する小流域はない。また、河口に入る流出は、2000年の9952.79億 m^3 から2050年の8069.87億 m^3 と、1882.93億 m^3 低下しているものの、絶対的な流量が多いため、その量が枯渇することはない。

ただし、今回の分析では非常に広大な流域を広域な小流域に分割しているため、これら小流域内部の状況は分からない。そのため、詳細な地域によっては、さらに水資源が逼迫し、流出量が枯渇している可能性もある。そのため、今後はさらに流域区分を詳細に設定することによって、地域の精密な状況を評価・検討していきたい。

5. まとめ

本研究では、急速な社会経済成長と水資源枯渇が懸念される中国を対象に、2050年までの社会経済発展の違い

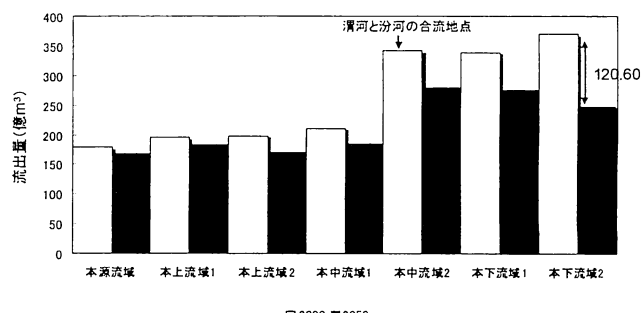


図-7 黄河流域各支流からの流出量

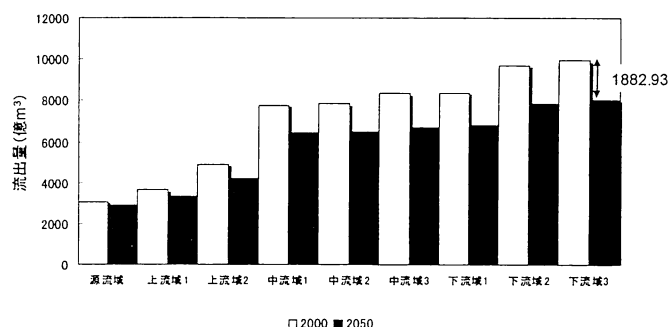


図-8 長江流域各支流からの流出量

による各地域の水需給ギャップを詳細に把握した。この結果、社会経済成長と水需要の関係を明らかにするとともに、水需給ギャップの空間分布を示した。さらに、2大主流である黄河流域と長江流域を対象に、カスケードタイプの簡便な流出モデルを作成することによって人間活動が河川流量に与える影響を分析した。このような流域全体にわたる水需給構造の特徴を示すことによって、社会経済発展と調和した水資源利用のあり方が議論できると同時に、適正な水資源管理のあり方について模索することが可能となる。

今後は、シナリオ設定の妥当性の検討や推計方法の改善を行いたい。さらに、水資源分配や水利権転換といった水資源利用の改善策の具体的な議論を進めていきたい。

謝辞： 本研究は、財団法人クリタ水・環境科学進行財団（萌芽的研究）「中国の社会経済発展と水資源需給構造の詳細時空間把握」（研究代表者：大西暁生）、大学共同利用機関法人・人間文化研究機構・総合地球環境学研究所の予備研究(FS)である「長江流域の水循環と水問題：急激に変化する中国の人間活動と自然の相互作用」

(FS責任者：田中広樹)、科学研究費補助金（基盤研究B）「メコン川水資源に関する経済環境解析と流域管理計画への指針」（研究代表者：森杉雅史）の一環として行われたものである。記して深謝する。

本論文は、筆者の参考文献(10)の報告をもとに研究を拡張したものである。

参考文献

- 1) 大西暁生, 佐藤嘉展, 井村秀文, 石峰, 森杉雅史, 東修, 白川博章: 黄河流域における詳細水需給空間構造の把握に関する研究, 環境システム研究論文発表会講演集, Vol.36, pp.315-323, 2008.
- 2) 佐々木信彰編: 現代中国経済の分析, 世界思想社, 1997.
- 3) 加藤弘之: シリーズ現代中国経済 6 -地域の発展-, 名古屋大学出版会, 2003.
- 4) 国際協力銀行: 中国北部水資源問題の実情と課題－黄河流域における水需給の分析－, JBIC Research Paper, No. 28, 2004.
- 5) 一ノ瀬俊明, 原田一平, イーモンシャン, 大坪國順: 黄河全流域地下水資源需要分布の推計, 環境科学会誌, Vol. 21, pp.365-377, 2008.
- 6) Ichinose, T., Harada, I., Ee, M., Otsubo, K.: Estimation of groundwater resource demand in the Yellow River Basin, China, *Hydrological change and management: from headwater to the ocean*, Taylor & Francis, pp.477-482, 2008.
- 7) 大西暁生, 井村秀文, 白川博章, 韓驥: 黄河流域水資源需給の時間・空間構造の把握に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.34, pp.611-622, 2006.
- 8) 井村秀文, 大西暁生, 岡村実奈, 方偉華: 黄河流域の県市別データに基づく水資源需給空間構造の把握に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol. 33, pp.477-485, 2005.
- 9) Onishi, A., Imura, H., Han, J., Shi, F. and Fukushima Y.: Socio-economic activities and the balance between water resource supply and demand in the Yellow River basin, China, IAHS Publication 315, pp.320-327, 2007.
- 10) 大西暁生, 石峰, 森杉雅史, 田中広樹, 井村秀文: 中国の社会経済発展と詳細水需給ギャップの把握, 都市計画報告集, No.8-3, pp.140-143, 2009.
- 11) 国家統計局総公司: 新中国五十五年統計資料匯編, 中国統計出版社, 2005.
- 12) 中国科学院資源環境科学データセンター, 販売シービーエス株式会社: 社会経済 1995 年・2000 年データ.
- 13) 中国科学院資源環境科学データセンター, 販売シービーエス株式会社: 土地利用データ 1995 年・2000 年データ.
- 14) データ提供・監修: 中国科学院地理科学・資源研究所, 提供: 日本スーパマップ株式会社: Geoinfo.China digital 400.
- 15) 中華人民共和国水利部: 中国水資源公報 1999-2004, 中国水利部, 1999-2004.
- 16) 中国科学院地理科学与資源研究所 中国自然資源データベース.
- 17) 銭正英, 張光斗他: 中国可持續發展水資源戰略研究報告集 Vol.1~9, 中国水利水電出版社, 2001.
- 18) 大西暁生: 黄河流域の社会経済・生産活動と水資源需給空間構造の把握に関する研究, 名古屋大学大学院環境学研究科博士論文, 2006.
- 19) Stein, M.L.: Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging, Springer Series in Statistics, America, 1999.

(2010. 6. 20受付)

Effect of Regional Water Supply and Demand Gap by Rapid Socio-Economic Growth of China -Study on Annual River Flows of Yellow River and Changjiang-

Akio ONISHI¹, Masafumi MORISUGI², Hiroki TANAKA³ and Hidefumi IMURA¹

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

²Faculty of Urban Science, Meijyo University

³Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University

This 21 century is said as a water century. Especially, regions where are located at arid and semi-arid climate conditions concern that water will become more severe constraint of economical growth. 'Dry-up' of the Yellow River basin is one of most representative phenomena of water issues. The sever water shortage was led by increases in water demand associated with rapid socio-economic development and decreases in water resource. The potential of water shortage is not only the issue of the arid and semi-arid regions, but it is also the common issue of developing countries and regions where may have been influenced by global warming. Therefore, purpose of this study is to clarify relationship between the socio-economic growth and water demand and to understand of fine spatial water supply and demand gaps of China. Firstly, the regional water demand by different sectors was estimated by using the socio-economic macro framework. Secondary, the allocation of water resource was assessed by using the observed climate data. Then, the gaps between water demands and supplies were shown by the fine spatial resolutions. Finally, amounts of river flows of both the Yellow River and Changjiang were estimated by using cascade type water flow model.